

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-286195

(43)Date of publication of application : 13.10.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/20
H01L 21/268
H01L 29/786
H01L 21/336

(21)Application number : 11-090439

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP
SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 31.03.1999

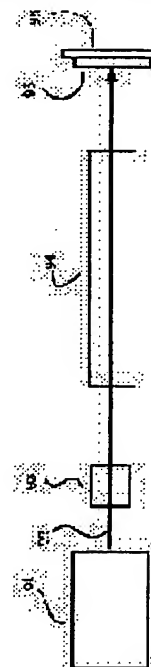
(72)Inventor : OGAWA TETSUYA
TOKIOKA HIDEYADA
SATO YUKIO
INOUE MITSUO
SASAGAWA TOMOHIRO
MIYASAKA MITSUTOSHI

(54) METHOD AND EQUIPMENT FOR LASER HEAT TREATMENT, AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form a thin film with superior crystallinity by transforming laser beam generated by a pulsed laser source having a specific wavelength into linear beam having a specific energy density gradient in cross direction, and by having a film material on a substrate irradiated with the beam.

SOLUTION: After laser beam 92 is adjusted to a specific intensity with a variable attenuator 93, it is launched into a linear beam forming optical system 94. The laser beam is transformed with the linear beam forming optical system 94 so as to have a linear beam profile, and a target 95 is irradiated with the beam to be subjected to laser heat treatment. The substrate is placed on a movable stage 96, so that the substrate can be moved during laser beam irradiation. By adjusting the laser beam energy which is generated by a pulsed laser source having a wavelength of 350-800 nm with the variable attenuator 93, the density distribution gradient in the cross direction of linear beam irradiation energy is adjusted to a 3 mJ/cm²/μm.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.09.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-286195

(P2000-286195A)

(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L 21/20		H 0 1 L 21/20	5 F 0 5 2
21/268		21/268	J 5 F 1 1 0
29/786		29/78	6 2 7 G
21/336			

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-90439

(22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 小川 哲也

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外2名)

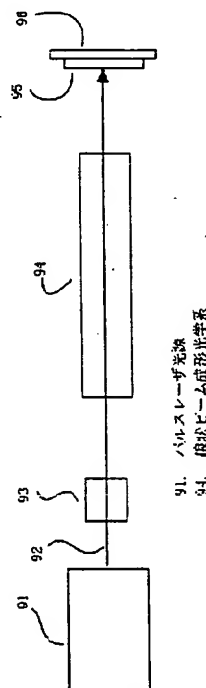
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ熱処理方法、レーザ熱処理装置および半導体デバイス

(57) 【要約】

【課題】 高移動度の薄膜トランジスタを実現するために、結晶性に優れた多結晶珪素膜を形成するレーザ熱処理方法、レーザ熱処理装置を提供する。

【解決手段】 波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して照射、珪素膜のレーザ熱処理を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して、基板上に形成された基板上膜材料に照射することを特徴とするレーザ熱処理方法。

【請求項2】 上記線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布の形状がほぼガウス分布状であることを特徴とする請求項1記載のレーザ熱処理方法。

【請求項3】 上記線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布の形状がほぼトップフラット状であることを特徴とする請求項1記載のレーザ熱処理方法。

【請求項4】 上記線状ビームの長手方向のエネルギー密度分布の形状がほぼトップフラット状であり、フラット部の平均強度を1とした場合、標準偏差が0.3以下の分布であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項5】 上記パルスレーザ光源は、NdイオンドープあるいはYbイオンドープの、結晶あるいはガラスを励起媒質とした、Qスイッチ発振固体レーザの高調波であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項6】 上記パルスレーザ光源はQスイッチNd:YAGレーザの第2高調波であることを特徴とする請求項5記載のレーザ熱処理方法。

【請求項7】 上記パルスレーザ光源はNd:YAGレーザの第3高調波、Nd:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Nd:YLFレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:YAGレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Ti:Sapphireレーザの基本波または第2高調波のいずれかであることを特徴とする請求項5記載のレーザ熱処理方法。

【請求項8】 上記パルスレーザ光源により発生されるレーザビームの1パルス当たりのエネルギーが0.5mJ以上であることを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項9】 上記基板が絶縁膜に覆われていることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項10】 上記基板上膜材料として、非晶質または多結晶珪素膜を用いることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項11】 上記非晶質または多結晶珪素膜の同一箇所へ照射されるパルスレーザ光のパルス数が100パルス以下であることを特徴とする請求項10記載のレーザ熱処理方法。

【請求項12】 上記非晶質または多結晶珪素膜の膜厚が200nm未満であることを特徴とする請求項10または11記載のレーザ熱処理方法。

【請求項13】 上記レーザ光のパルス時間幅が200nse

c未満であることを特徴とする請求項10乃至12のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項14】 上記非晶質または多結晶珪素膜の表面における照射エネルギー密度が $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上であることを特徴とする請求項10乃至13のいずれかに記載の熱処理方法。

【請求項15】 上記線状ビームの長手方向の長さが上記線状ビームの幅の10倍以上であることを特徴とする請求項1乃至14のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項16】 波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して、基板上膜材料に照射することにより熱処理された上記基板上膜材料を能動層として用いた複数のトランジスタが、より高周波で動作させる上記トランジスタのドレイン電流の流れる方向が、上記線状ビームの幅方向または長手方向になるよう作製されたことを特徴とする半導体デバイス。

【請求項17】 波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源と、このパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形する線状ビーム成形光学系とを備えたことを特徴とするレーザ熱処理装置。

【請求項18】 上記パルスレーザ光源はNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスをレーザ励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波であることを特徴とする請求項17記載のレーザ熱処理装置。

【請求項19】 上記パルスレーザ光源はQスイッチNd:YAGレーザの第2高調波であることを特徴とする請求項18記載のレーザ熱処理装置。

【請求項20】 上記パルスレーザ光源はNd:YAGレーザの第3高調波、Nd:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Nd:YLFレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:YAGレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Ti:Sapphireレーザの基本波または第2高調波のいずれかであることを特徴とする請求項17記載のレーザ熱処理装置。

【請求項21】 上記パルスレーザ光源により発生されるレーザビームの1パルス当たりのエネルギーが0.5mJ以上であることを特徴とする請求項17乃至20のいずれかに記載のレーザ熱処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 高移動度の薄膜トランジスタを実現するために、結晶性に優れた多結晶珪素膜を形成するレーザ熱処理方法、レーザ熱処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、液晶パネルの画素部は、ガラスまたは合成石英基板上の非晶質または多結晶珪素膜で作製された薄膜トランジスタのスイッチングにより、画像を構成している。もし、このパネル上に画素トランジスタを駆動するドライバ回路（主として外部に独立して設置してある）を同時に構成することが可能となれば、液晶パネルの製造コスト・信頼性等の面で飛躍的なメリットが生じることになる。しかし現在は、トランジスタ能動層を構成する珪素膜の結晶性が悪いため、移動度に代表される薄膜トランジスタの性能が低く、高速性・高機能性が要求される集積回路の作製は困難である。高移動度薄膜トランジスタ実現を目的とする、珪素膜結晶性改善手法として、一般的にレーザによる熱処理が行われている。

【0003】珪素膜の結晶性と薄膜トランジスタの移動度の関係は以下のように説明される。レーザ熱処理により得られる珪素膜は一般に多結晶である。多結晶の結晶粒界には結晶欠陥が局在しており、これが薄膜トランジスタ能動層のキャリア移動を阻害する。従って、薄膜トランジスタの移動度を高くするには、キャリアが能動層を移動中に結晶粒界を横切る回数を少なくし、かつ結晶欠陥密度を小さくすれば良い。レーザ熱処理の目的は、結晶粒径が大きくかつ結晶粒界における結晶欠陥が少ない多結晶珪素膜の形成である。

【0004】従来、波長が350nm以上の長いレーザ光を用いてレーザ熱処理を行うという試みが、論文レベル（文献1（Appl. Phys. Lett. 39, 1981, p425-427）、文献2（Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 4, 1982, p523-p528）及び文献3（Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 358, 1995, p915-p920））でなされている。ここでは波長350nm以上の長いレーザ光としてNd:YAGレーザの第2高調波（波長：532nm）が使われている。図10は従来のNd:YAGレーザ第2高調波によるレーザ熱処理装置の一例を示す図である。ここにおいて、1は熱処理用レーザとして使われている代表的な可視光パルスレーザ光源であるNd:YAGレーザ第2高調波（波長：532nm）発振装置、2は発振レーザ光、4はビームを集光するための集光用レンズ、5は非晶質または多結晶珪素膜、7は基板である。

【0005】次に従来のレーザ熱処理手法について説明する。Nd:YAGレーザ第2高調波発振装置1から出射されたパルスレーザ光2が集光用レンズ4により集光されて非晶質珪素膜5上に照射される。パルスレーザ光2の照射により照射領域における非晶質珪素膜5が熔融される。しかし、これらの報告例では、照射位置でのビームプロファイルは軸対称ガウス分布である。従って、再結晶時に結晶粒は中心対称的に放射状に成長し、図11のようになる。すなわち、レーザ熱処理後の多結晶珪素膜質の面内均一性が非常に悪く、薄膜トランジスタを作製した報告例はない。

【0006】ここで、珪素膜厚とMOSトランジスタの関係について述べる。一般に、能動層を構成する珪素膜厚が薄いほど、 $dV_G/d(\log I_{DS})$ （ V_G ：ゲート電圧、 I_{DS} ：ドレイン電流）で定義される s 因子が小さくなるため、閾値電圧は低くなる。その結果、トランジスタの駆動電圧が低くなり、消費電力が格段に小さくなる。従って、液晶パネルの主要な用途である携帯情報端末機器に搭載する際に非常に大きなメリットとなる。しかしながら、文献1及び2で用いられた珪素膜の膜厚は0.2~1 μm と厚いために、しきい値電圧が高く、消費電力が高いことが現実的にトランジスタとして機能しないことが予想される。

【0007】通常、広面積にわたるレーザ熱処理のために基板を移動させながらレーザ熱処理を行うが、熱処理後の膜質の均一性のために各レーザパルス照射間の基板の移動量を照射ビーム幅よりも狭くし、同一箇所を複数回のレーザ照射があるようにするのが一般的である。文献3によると同一箇所への照射回数が200回以上が良いとされている。これは、レーザ熱処理後の珪素膜のX線回折ピーク強度の増大及び抵抗値の低減を根拠としている。文献3では表面荒れについては言及していないが、一般的に、照射回数が多いと、表面荒れが大きく、また珪素膜は部分的にアブレーションされ基板から剥離する。多結晶珪素膜を能動層としてコプレーナ型あるいは正スタガ型MOSトランジスタを作製する場合、表面荒れが大きくとゲート酸化膜がショートしてしまうという問題があり、また珪素膜が部分的に剥離しているとそもそもMOSトランジスタが形成できない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】結晶粒の増大による移動度増大を狙った、従来のNd:YAGレーザの第2高調波を用いたレーザ熱処理では、軸対称ガウスビームを用いるために、個々の結晶粒の方位が揃わず薄膜トランジスタを作製した場合に移動度が低くなる、結晶粒界における結晶欠陥密度が高いという問題点があった。

【0009】また、結晶品質向上を狙って同一箇所へのレーザ照射回数を200回以上と多くのショット数を照射していたため、表面荒れが大きくMOSトランジスタのゲート酸化膜がショートしてしまう、珪素膜がアブレーションされるため薄膜トランジスタが作製できないという問題もあった。

【0010】本発明の目的は、高性能の薄膜トランジスタを作製するのに必要な結晶性に優れた薄膜を形成するレーザ熱処理方法を提供することである。

【0011】また、生産性の高い、安定なレーザ熱処理方法を提供することを第2の目的とする。

【0012】さらに、低コストで高速動作できる半導体デバイスを提供することを第3の目的とする。

【0013】さらにまた、結晶性に優れた薄膜を形成するレーザ熱処理を施すレーザ熱処理装置を提供すること

を第4の目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明に係る請求項1のレーザ熱処理方法は、波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して、基板上に形成された基板上膜材料に照射するものである。

【0015】本発明に係る請求項2のレーザ熱処理方法は、線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布の形状をほぼガウス分布状としたものである。

【0016】本発明に係る請求項3のレーザ熱処理方法は、線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布の形状をほぼトップフラット状にしたものである。

【0017】本発明に係る請求項4のレーザ熱処理方法は、線状ビームの長手方向のエネルギー密度分布の形状をほぼトップフラット状にして、フラット部の平均強度を1とした場合、標準偏差が0.3以下の分布にしたものである。

【0018】本発明に係る請求項5のレーザ熱処理方法は、パルスレーザ光源をNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波としたものである。

【0019】本発明に係る請求項6のレーザ熱処理方法は、パルスレーザ光源をQスイッチNd:YAGレーザの第2高調波としたものである。

【0020】本発明に係る請求項7のレーザ熱処理方法は、パルスレーザ光源をNd:YAGレーザの第3高調波、Nd:YLFレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:YAGレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Ti:Sapphireレーザの基本波または第2高調波のいずれかにしたものである。

【0021】本発明に係る請求項8のレーザ熱処理方法は、パルスレーザ光源により発生されるレーザビームの1パルス当たりのエネルギーを 0.5mJ 以上としたものである。

【0022】本発明に係る請求項9のレーザ熱処理方法は、基板が絶縁膜に覆われているものである。

【0023】本発明に係る請求項10のレーザ熱処理方法は、基板上膜材料として、非晶質または多結晶珪素膜を用いるものである。

【0024】本発明に係る請求項11のレーザ熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の同一箇所へ照射されるパルスレーザ光のパルス数を100パルス以下としたものである。

【0025】本発明に係る請求項12のレーザ熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の膜厚を200nm未満としたものである。

【0026】本発明に係る請求項13のレーザ熱処理方

法は、レーザ光のパルス時間幅を200nsec未満としたものである。

【0027】本発明に係る請求項14のレーザ熱処理方法は、照射エネルギー密度を $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上としたものである。

【0028】本発明に係る請求項15のレーザ熱処理方法は、線状ビームの長手方向の長さを上記線状ビームの幅の10倍以上としたものである。

【0029】本発明に係る請求項16の半導体デバイスは、波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して、基板上膜材料に照射することにより熱処理された上記基板上膜材料を能動層として用いた複数のトランジスタが、より高周波で動作させる上記トランジスタのドレイン電流の流れる方向が、上記線状ビームの幅方向または長手方向になるよう作製したものである。

【0030】本発明に係る請求項17のレーザ熱処理装置は、波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源と、このパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形する線状ビーム成形光学系とを備えたものである。

【0031】本発明に係る請求項18のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源をNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスをレーザ励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波としたものである。

【0032】本発明に係る請求項19のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源をQスイッチNd:YAGレーザの第2高調波としたものである。

【0033】本発明に係る請求項20のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源をNd:YAGレーザの第3高調波、Nd:YLFレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:YAGレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Ti:Sapphireレーザの基本波または第2高調波のいずれかにしたものである。

【0034】本発明に係る請求項21のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源により発生されるレーザビームの1パルス当たりのエネルギーを 0.5mJ 以上としたものである。

【0035】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は本発明のレーザ熱処理方法を具現化する装置の構成図である。同図において91はNd:YAGレーザの第2高調波発振装置、92はNd:YAGレーザの第2高調波発振装置から出射されたレーザ光（波長は532nm）、93はバリアブルアッテネータ、94は線状ビームに変換するためのビーム成形光学系、95

はターゲット、96は移動ステージである。レーザ光92は、バリアブルアッテネータ93で所定の強度に調整された後、線状ビーム成形光学系94に入射する。線状ビーム成形光学系94により線状のビームプロファイルに変換された後、ターゲット95に照射され、レーザ熱処理が行われる。基板は移動ステージ96上に設置されており、レーザ照射時での基板の移動が可能となっている。また、ターゲットの詳細は図2のようであり、ガラス基板103上に下地膜102として厚さ200nm酸化珪素膜をCVD (Chemical Vapor Deposition) により形成した上に、基板上膜材料として、厚さ70nmの非晶質珪素膜101をLPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) により成膜した。

【0036】レーザビームは移動ステージを線状ビームの線に直行した方向に移動させながら照射する。各パルスレーザ光照射の間隔にステージが移動する距離を、線状ビームの幅よりも長くすると同一箇所へのレーザのパルスの照射回数が1回になるが、ビーム幅よりも短くすると図3に示すように同一箇所へレーザ光が複数回照射されることになる。

【0037】図4にレーザビームを照射して非晶質珪素膜101の熔融する時の概念図を示す。図1中の線状ビーム成形光学系94の出力部にある集光レンズ941により非晶質珪素膜101上に線状ビームを集光して照射する。集光レーザビームプロファイルは図4中の点線で示すように、長手方向が均一プロファイルであるトップフラット状であり、幅方向のプロファイルは例えばガウス分布状である。本発明である線状ビームプロファイルによるNd:YAGレーザの第2高調波による熱処理方法を用いると、非晶質珪素に対する第2高調波吸収係数が小さいために膜厚方向に対してはほぼ均一に加熱され、レーザ照射によって発生する珪素膜内の横方向温度分布は、線状ビームの幅方向にのみ形成される。従って、図4の下図に示すように、基板上膜材料である非晶質珪素膜101のある強度以上のビームの部分が、深さ方向全体に熔融する。すなわち、深さ方向全体に広がった熔融部が線状に分布した熔融部ができる。よって、深さ方向および線状ビームの長手方向に温度分布が少ないため、結晶成長が線状ビームの幅方向への1次元横方向成長になり、結晶粒径は数 μm 程度と大きな結晶粒が形成される。また、レーザ熱処理後に形成される多結晶珪素膜の結晶粒は図5のように結晶成長の方向である線状ビームの幅方向、すなわち移動ステージの移動(スキャン)方向に揃う。

【0038】従来より、エキシマレーザを用いて線状ビームプロファイルによるレーザ熱処理が行われているが、これは波長350nm以上のレーザ光による熱処理とは根本的に異なる概念によるものである。波長350nm以上のレーザ光による熱処理は再結晶過程において膜の面内方向である横方向に関して再結晶成長が起こるため大結晶粒径化が可能であるが、エキシマレーザによる熱処理

は膜の厚み方向である縦方向に関しての成長であるため大粒径化が困難である。線状ビームのエキシマレーザによる熱処理は、単に、レーザ熱処理後の膜質の面内均一性及び生産性の向上を図るだけのものである。

【0039】上記した波長350nm以上のレーザ光による熱処理における横方向成長の過程は、珪素膜内において横方向に形成された温度分布に大きく影響される。すなわち、照射される線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布に大きく影響される。レーザ光照射により珪素膜内に導入された熱は、一様に基板へ散逸していく。すなわち、珪素膜内の横方向温度分布は一様に低下していく。従って、図6に示すように、先に温度が融点を下回った部分から、後で温度が融点を下回る部分へ向かって横方向に結晶成長していく。そしてこの結晶成長は、温度が冷えていく過程で自然核発生により成長した微結晶により、その行く手を遮られて横方向結晶成長が止まる。すなわち、自然核発生が起こるまでの時間にできるだけ結晶粒が長く成長していれば良い訳であるが、そのためには結晶成長速度が速いことが要求される。一般に、ある微小領域における結晶成長速度 v は $v = k \Delta T / \Delta x$ により表される。ここで、 k は速度定数、 ΔT は微小領域における温度差、 Δx は微小領域の幅である。すなわち、珪素膜内の横方向に関して温度分布が存在する場合、融点以上の温度である領域の温度分布が急峻な勾配であれば、結晶成長速度が速く、その結果、結晶粒径の大きい多結晶珪素膜の形成が可能となる。現実的な問題である、珪素膜内における横方向温度分布の急勾配化に関しては、ターゲット表面における照射エネルギー密度分布を急勾配にすることにより実現できる。

【0040】以下、本発明による実際のデータを説明する。Nd:YAGレーザの第2高調波のパルスエネルギーは20 mJ/pulse、時間パルス幅は60 nsec (FWHM) である。また、珪素膜表面でのビーム照射面積は、 $50 \mu\text{m} \times 10 \text{mm}$ または $250 \mu\text{m} \times 10 \text{mm}$ で、図1中に示すバリアブルアッテネータ93によりレーザ光のエネルギーを調整することで、照射エネルギー密度を300-1000 mJ/cm² (全照射エネルギーをビーム照射面積で割った値) にして実験を行った。線状ビームの幅方向の照射エネルギー密度分布の勾配の最大値は、4 mJ/cm² / μm (照射面積: $250 \mu\text{m} \times 10 \text{mm}$ 、照射エネルギー密度800 mJ/cm²での値) と30 mJ/cm² / μm (照射面積: $50 \mu\text{m} \times 10 \text{mm}$ 、照射エネルギー密度800 mJ/cm²での値) で行った。珪素膜上の同一箇所へのレーザ照射回数は20回にする。なお、雰囲気は大気中であり、基板温度は室温である。

【0041】ここで、照射エネルギー密度分布勾配の決定方法について説明する。まず、非晶質珪素膜表面での照射位置における線状ビームプロファイル、すなわち照射エネルギー密度分布を測定する。ここで、照射エネルギー密度分布は、ある微小部分に対して照射される1パルス中のエネルギーを単位面積当たりの量に換算したも

の分布であるとする。単位は通常 mJ/cm^2 で表す。測定は、フォトダイオードの1次元アレイより構成されるリニアイメージセンサを用いて、線状ビームの長手方向と幅方向に関して行う。このような実測により得られた2次元の照射エネルギー密度分布は相対的な値であり、まだ絶対的な数値を持っていない。実測により得られた2次元の照射エネルギー密度分布を面積に関して積分した積分値を求めておく。別にパワーメーター等のレーザビーム全体のエネルギーを測定する測定器により測定された、レーザビーム全体の1パルス当たりのエネルギーと、先に測定された積分値とを等しくなるように実測された照射エネルギー分布を値付けすれば、照射エネルギー密度分布が絶対値として得られる。照射エネルギー密度分布の勾配は、このようにして得られた照射エネルギー密度分布の絶対値を位置に関して微分したものである。

【0042】以上のような条件で、非晶質珪素膜のレーザ熱処理を行った。その結果得られた多結晶珪素膜の結晶粒径は、線状ビームの幅方向の照射エネルギー密度分布の勾配の最大値が $4\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ （照射強度 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ における値）のものは、ビームをスキャンした方向の結晶粒の長さが $1\mu\text{m}$ 程度であったが、 $30\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ （照射強度 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ における値）のものについては、 $3\mu\text{m}$ 程度と3倍も大きな値であった。これは照射エネルギー密度分布に基づく温度分布の急峻さの差異に依存する結晶成長速度の違いに起因する結果である。これらの多結晶珪素膜を用いて能動層を構成したプレーナ型MOSトランジスタを作製した。MOSトランジスタのドレイン電流が流れる方向を、ビームをスキャンした方向、すなわち結晶成長した方向になるよう作製した。チャネルの長さ及び幅はそれぞれ $5\mu\text{m}$ 及び $10\mu\text{m}$ である。n-チャネル移動度の照射エネルギー密度に対する依存性を図7に示す。

図で示されるように、照射強度 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ における線状ビームの幅方向の照射エネルギー密度分布の勾配の最大値が $4\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ （照射強度 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ における値）のものについては、照射強度 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ （照射エネルギー密度分布の勾配の最大値では $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ になる）以上で、MOSトランジスタのn-チャネル移動度は $100\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度とやや低い値であったが、 $30\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ （照射強度 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ における値）のものに関しては、移動度 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度と非常に高い値が達成された。このように、照射エネルギー密度の勾配の違いによりMOSトランジスタの移動度が大きく異なってくるのは、結晶粒の長さが異なるためMOSトランジスタの能動層においてキャリアが結晶粒界を横切る回数が違うことに起因する。高速度・高機能性が要求される集積回路を作製するには、ほぼ $100\text{cm}^2/\text{Vs}$ の移動度が必要となる。従って、照射エネルギー密度分布の勾配の最大値がおおよそ $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上である線状ビームプロファイルを用いてレーザ熱処理を行うことが必要である。

【0043】なお、膜材料として、ここでは珪素について説明したが、炭化珪素（SiC）、あるいは炭素のみより成る材料、あるいは化合物半導体、あるいは誘電体化合物、あるいは高温超伝導体化合物に対して上記のようなレーザ熱処理を施しても、大きな結晶粒径が得られるといった同様の効果があることは言うまでもない。

【0044】実施の形態1では、線状ビームの幅方向のプロファイルがガウス分布にしたものである。幅方向プロファイルをガウス分布型にすると、レーザ熱処理時に非常に良い効果を及ぼす。線状ビームのスキャン方向と一致する幅方向のプロファイルがガウス分布であれば、図6のように珪素膜を融点以上に加熱し溶融させるレーザ光強度閾値以上の強度を有する中心領域の外側のレーザ光エネルギーも珪素膜に照射されており、融点以下ではあるが珪素膜を加熱している。すなわち、スキャンに対して進行方向逆側の溶融閾値以下のレーザ光強度を有する部分はpostアニールを施す効果がある。

【0045】postアニールは再結晶後の多結晶珪素膜の結晶性をさらに向上させる効果がある。珪素に対するNd:YAGレーザ第2高調波の吸収係数が低いいため、珪素膜中でレーザ光強度が $1/e$ になる深さで定義される浸透長は 100nm 以上ある。従って、再結晶後の珪素膜のほとんど裏面に至る部分まで結晶欠陥補償が施されることになり、結晶性がさらに良くなる。この効果は、従来行われているエキシマレーザによる熱処理では期待できない。エキシマレーザ光の珪素に対する吸収係数が非常に高く、浸透長が数 10nm 程度しかないためである。

【0046】実施の形態2。実施の形態2では、線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布形状をトップフラット形状にした場合について述べる。線状ビームの幅方向照射エネルギー密度勾配を急峻にしていくなか、勾配の急峻さとともにピーク値も高くなっていく。ピーク値が高すぎると、珪素膜はアブレーションされ珪素膜は基板より剥離してしまい、薄膜トランジスタを作製することができない。従って、勾配の急峻化と同時にピーク値を抑えることが必要となる。以上の条件を満足するプロファイルとして、トップフラット形状が適当である。

【0047】実施の形態3。実施の形態3では、線状ビームの長手方向のエネルギー分布形状について述べる。長手方向のエネルギー分布形状はトップフラット形状であるが、レーザ光のコヒーレンスに起因する干渉のため、完全に均一なプロファイルを得るのは難しく、実際は図8のように多少リブルが重畳したプロファイルとなる。Nd:YAGレーザの第2高調波によるレーザ熱処理で得られた多結晶珪素膜を用いて作製されたMOSトランジスタの特性は図7から明らかなように、 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上では照射エネルギー密度に対して、一定の特性となる。従って、長手方向のエネルギー分布がフラットな部分の強度を1とした場合、標準偏差が0.3以下、好ましくは0.2程度以下であればよい。

【0048】実施の形態4. 実施の形態4では、実施の形態1で説明した熱処理された基板材料に作製する半導体デバイスについて述べる。実施の形態1で説明した、Nd:YAGレーザの第2高調波により熱処理して形成された多結晶珪素膜を能動層として図9のように、MOSトランジスタ素子を、ビームをスキャンした方向、すなわち結晶成長した方向がドレイン電流の流れる方向になるよう構成すれば、個々の結晶粒の境界面での結晶方位のズレがなくなるためキャリアは境界面で散乱されず、粒界が極めて狭いため結晶粒界における結晶欠陥密度も小さくなり、トランジスタの移動度が著しく向上する。従って、基板上に作製するトランジスタの内、高周波で動作させるトランジスタをこの方向に作製すれば、より高い周波数まで動作可能なデバイスが提供できる。また、ビームをスキャンした方向に垂直な方向、すなわち線状ビームの長手方向にドレイン電流が流れるようにMOSトランジスタ素子を構成しても、結晶粒の長さが若干短くなるため移動度は多少減少するが、ほぼ同様の効果が得られる。また、本発明による方法では、単に結晶粒が大きくなり移動度が増大するばかりでなく、レーザ照射エネルギー密度に対して最大の移動度が得られる条件がクリティカルでなく、少々レーザの強度が変動しても一定の特性のトランジスタが得られるという大きな利点がある。

【0049】実施の形態5. 実施の形態5では、線状ビームの形状について説明する。線状の照射領域については、本実験では $50\mu\text{m} \times 10\text{mm}$ の領域を照射するもので行ったが、上述のように、レーザ照射によって発生する珪素膜内の横方向温度分布が、線状ビームの幅方向にのみ形成され、結晶成長が次元方向に生じるのがメインとなるのは、照射領域の幅に対する長さの比が10倍程度以上である。すなわち、照射位置でのレーザ光の幅が $50 \sim 100\mu\text{m}$ であれば、長さは 1mm 以上であればよい。

【0050】実施の形態6. 実施の形態6では、照射強度について説明する。まず、Nd:YAGレーザの第2高調波によるレーザ熱処理の照射強度の上限値に関して説明する。照射エネルギー密度を高くしていった場合、 $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ を越えると珪素膜はアブレーションされ、基板より完全に剥離されてしまった。従って、レーザ光の照射エネルギー密度は $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下で行わなければならないことが明らかになった。照射強度の下限値については、 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ で非晶質から多結晶への変化が色の変化により視認できることから、 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、好ましくは $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ である。

【0051】実施の形態7. 実施の形態7では、同一箇所へのレーザ照射回数について説明する。本発明に関して行った照射実験では、100回以上の照射回数では激しい表面荒れやアブレーションによる部分的な膜の剥離が見られ、薄膜トランジスタの作製が不可能であった。このような表面荒れやアブレーションが起こる原因は、珪

素膜側とレーザ光側の双方にある。珪素膜側の原因は、膜厚の不均一性、膜密度の不均一性に起因するレーザ照射時の熱分布ムラである。レーザ側の原因としては、スベッカル等の干渉に起因してビームプロファイルにリブルが重畳して発生することにある。この様子を図8に示す。図8は線状ビームプロファイルの長手方向の詳細な分布を示すもので、干渉によりリブルが生じてこの方向の分布が少し不均一になっている。このような原因を根本的に除去するのは非常に困難である。実際、表面荒れは1回目の照射で軽く発生し、それが2回目の照射時の不均一性になるという悪循環を繰り返し、照射回数が多くなると相乗効果的に表面荒れが激しくなる。照射回数100回以下に限定することにより、表面荒れが薄膜トランジスタの作製に支障をきたさないことを確認している。

【0052】実施の形態8. 実施の形態8では、非晶質または多結晶珪素膜の膜厚について説明する。ガラス基板を移動させながらレーザ熱処理を行う場合、同一箇所へ対して複数回レーザが照射されるため、熱処理が複数回繰り返されることになる。まず、最初の幾回かのレーザ照射により粒径の大きい多結晶珪素膜が形成される。その結果、良好な結晶部よりも、結晶粒界等の結晶欠陥部の方が一般的に吸収係数が高くなる。つまり結晶欠陥部がより多くのレーザ光を吸収するため、結晶欠陥部が優先的に熱処理され、効率的な欠陥補償を可能とする。よって、光がどのくらいの深さまで到達するかが非常に重要となる。物質に対する光の浸透長は、光強度が $1/e$ になる深さで定義されるが、多結晶に対するNd:YAGレーザの第2高調波の浸透長は $100 \sim 200\text{nm}$ 程度である。従って、非晶質または多結晶珪素膜の膜厚が 200nm 未満、好ましくは 100nm 未満であれば、結晶欠陥が効率よく低減された多結晶珪素膜が形成される。

【0053】実施の形態9. 実施の形態9では照射レーザ光のパルス幅の影響について説明する。基本的に非晶質の珪素膜を熱処理するためにはその表面をアブレーションしない一定以下のピークパワー以内で、かつ熔融に必要な熱エネルギーを供給するパルス幅を与える必要がある。逆に、一定の熔融条件が満たされれば、必要以上にパルス時間幅を伸ばすと不必要にレーザ出力を増大するだけで、生産装置としての効率、生産性を落とすことになる。今回の実験では 60ns のパルス幅で行っているが、再結晶時の冷却過程をゆっくりと行い結晶の品質を改善する効果を含め、 60ns の数倍の 200ns 未満、好ましくは 60ns の2倍程度である 100ns 未満で行えばアブレーションしない、しかも効率の良い熱処理が行える。

【0054】実施の形態10. 実施の形態10では、レーザ光のエネルギーに関して説明する。実施の形態1での実験で、照射位置での1パルス当たりのエネルギー強度が $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ で最適の特性が得られたが、この時の全照射エネルギーは $4\text{mJ}/\text{pulse}$ である。レーザ光は発振装

置から出射された後、途中の光学系で10～20%ロスする。すなわち、発振装置で出射されるレーザー光のエネルギーは5mJ/pulse以上あればよいことになる。レーザー光のパルス当たりのエネルギーは高いほど広い照射面積に照射でき、本発明の場合は線状ビームの長さを長くできて、生産性を高くできる。なお、上述の線状ビームの下限值、すなわち照射レーザー光の幅50 μ mで長さ1mmの領域を照射するためには、最低0.5mJ/pulseのレーザー発振装置が必要となる。さらに、生産性から言えば、25mm（1インチ）の長さで処理できれば、例えば対角1.3インチ程度のTFTの領域を1ビームの走査で処理できるため、非常に有利となる。この時、15mJ/pulseのレーザー発振装置が必要となる。以上のように、この発明の線状ビームの効果を発揮するのは0.5mJ/pulse以上のレーザー発振装置によってであり、生産性からは、15mJ/pulse以上のレーザー発振装置が好ましいことになる。

【0055】実施の形態11。実施の形態11では用いるレーザーについて説明する。実施の形態1ではNd:YAGの第2高調波によるレーザー照射について説明した。Nd:YAGの第2高調波は効率が高く、高出力のものが得られるため、熱処理の生産性が良いものが得られるというメリットがある。本発明の主旨によれば、照射するレーザーに関しては、基本的には非晶質珪素に対するレーザー光の吸収率で決まることで、同じオーダーの吸収率を有する350nmから800nmのパルスレーザー光であれば、大きな結晶粒径の膜が作製できるという効果が得られる。したがって、Nd:YAGレーザーの第2高調波のみならず、他のNdイオンドープの固体レーザーの高調波、すなわちNd:YAGレーザーの第3高調波、Nd:ガラスレーザーの第2または第3高調波、Nd:YLFレーザーの第2または第3高調波や、Yb:YAGやYb:ガラスといったYbイオンドープの固体レーザーの第2または第3高調波や、Ti:Sapphireレーザーの基本波または第2高調波を用いて熱処理を行っても良い。これら固体レーザーは高効率で安定な発振が可能であるため、信頼性の高いレーザー熱処理方法や装置を提供できる。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る請求項1のレーザー熱処理方法は、波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザー光源により発生されるレーザービームを、幅方向に3mJ/cm²/μm以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して、基板上に形成された基板上膜材料に照射するもので、結晶の粒径が大きく、かつ高品質な薄膜が安定して得られる効果がある。

【0057】本発明に係る請求項2のレーザー熱処理方法は、線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布の形状をほぼガウス分布状としたので、postアニール効果を期待できる。

【0058】本発明に係る請求項3のレーザー熱処理方法は、線状ビームの幅方向のエネルギー密度分布の形状をほぼトップフラット状としたので、アブレーションの原

因となるピーク値の高さを抑えて、照射エネルギー密度分布の勾配を大きくすることができる。

【0059】本発明に係る請求項4のレーザー熱処理方法は、線状ビームの長手方向のエネルギー密度分布の形状をほぼトップフラット状にして、フラット部の平均強度を1とした場合、標準偏差が0.3以下の分布にしたので、ビームプロファイル成形光学系の性能に関する要求が緩くなり、コストを低減することができる。

【0060】本発明に係る請求項5のレーザー熱処理方法は、パルスレーザー光源をNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザーの高調波としたので、安定な熱処理ができる。

【0061】本発明に係る請求項6のレーザー熱処理方法は、パルスレーザー光源をQスイッチNd:YAGレーザーの第2高調波としたので低コストで安定かつ生産性の高い熱処理ができる。

【0062】本発明に係る請求項7のレーザー熱処理方法は、パルスレーザー光源をNd:YAGレーザーの第3高調波、Nd:ガラスレーザーの第2高調波または第3高調波、Nd:YLFレーザーの第2高調波または第3高調波、Yb:YAGレーザーの第2高調波または第3高調波、Yb:ガラスレーザーの第2高調波または第3高調波、Ti:Sapphireレーザーの基本波または第2高調波のいずれかとしたので、安定かつ生産性の高い熱処理ができる。

【0063】本発明に係る請求項8のレーザー熱処理方法は、パルスレーザー光源により発生されるレーザービームの1パルス当たりのエネルギーを0.5mJ以上としたので、生産性の高い熱処理ができる。

【0064】本発明に係る請求項9のレーザー熱処理方法は、基板が絶縁膜に覆われているので、特性が安定した熱処理が得られる。

【0065】本発明に係る請求項10のレーザー熱処理方法は、基板上膜材料として、非晶質または多結晶珪素を用いたので、特性が安定した熱処理が得られる。

【0066】本発明に係る請求項11のレーザー熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の同一箇所へ照射されるパルスレーザー光のパルス数を100パルス以下としたので、表面状態が良好な多結晶膜が得られる。

【0067】本発明に係る請求項12のレーザー熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の膜厚が200nm未満としたために、レーザーのエネルギー利用効率がよく、生産性が良い熱処理が行える。

【0068】本発明に係る請求項13のレーザー熱処理方法は、レーザー光のパルス時間幅が200nsec未満としたために、レーザーのエネルギー利用効率がよく、生産性が良い熱処理が行える。

【0069】本発明に係る請求項14のレーザー熱処理方法は、照射エネルギー密度を1500mJ/cm²以下100mJ/cm²以上としたので、表面状態が良好な多結晶膜が得られ

る。

【0070】本発明に係る請求項15のレーザ熱処理方法は、線状ビームの長手方向の長さが上記線状ビームの幅の10倍以上としたので、結晶の横方向成長を確実に行わせることができ、高品質の多結晶膜が得られる。

【0071】本発明に係る請求項16の半導体デバイスは、波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形して、基板上膜材料に照射することにより熱処理された上記基板上膜材料を能動層として用いた複数のトランジスタが、より高周波で動作させる上記トランジスタのドレイン電流の流れる方向が、上記線状ビームの幅方向または長手方向になるよう作製したので、高速に動作するデバイスを低コストで得られる。

【0072】本発明に係る請求項17のレーザ熱処理装置は、波長が350nm以上800nm以下であるパルスレーザ光源と、このパルスレーザ光源により発生されるレーザビームを、幅方向に $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上のエネルギー密度勾配を有する線状ビームに成形する線状ビーム成形光学系とを備えたので、多結晶薄膜の作製において、高品質な熱処理を提供する。

【0073】本発明に係る請求項18のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源をNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスをレーザ励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波としたので、安定な装置を提供する。

【0074】本発明に係る請求項19のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源をQスイッチNd:YAGレーザの第2高調波としたので、低コストで安定かつ高効率な装置を提供する。

【0075】本発明に係る請求項20のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源をNd:YAGレーザの第3高調波、Nd:ガラスレーザの第2高調波または第3高調波、Nd:YLFレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:YAGレーザの第2高調波または第3高調波、Yb:ガラスレー

ザの第2高調波または第3高調波、Ti:Sapphireレーザの基本波または第2高調波のいずれかとしたので、安定な装置を提供する。

【0076】本発明に係る請求項21のレーザ熱処理装置は、パルスレーザ光源により発生されるレーザビームの1パルス当たりのエネルギーが0.5mJ以上としたので、生産性の高い装置を提供する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1を示すレーザ熱処理装置を示す概観図である。

【図2】 図1におけるレーザ熱処理を施すターゲットの構造を示す模式図である。

【図3】 同一箇所へレーザ光が複数回照射される様子を示す図である。

【図4】 この発明の線状ビームプロファイルと基板上膜材料が溶融する様子を模式的に示す図である。

【図5】 この発明のレーザ熱処理方法により形成された多結晶珪素膜を示す模式図である。

【図6】 この発明のレーザ熱処理方法による再結晶過程を示す模式図である。

【図7】 この発明のレーザ熱処理方法により得られた多結晶珪素膜から作製されたNMOSトランジスタの移動度を示す図である。

【図8】 干渉がある線状ビームプロファイルの線方向のビーム強度分布を示す模式図である。

【図9】 この発明のレーザ熱処理方法により形成された多結晶珪素膜を能動層として用いて作製されるMOSトランジスタを示す模式図である。

【図10】 従来のレーザ熱処理装置を示す概観図である。

【図11】 従来のレーザ熱処理で形成された結晶粒を示す模式図である。

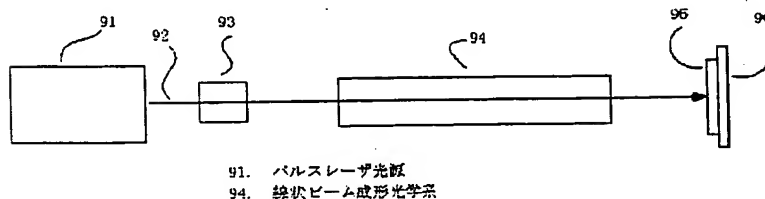
【符号の説明】

91 パルスレーザ光源

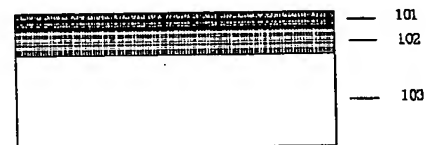
94 線状ビーム成形光学系

101 基板上膜材料

【図1】

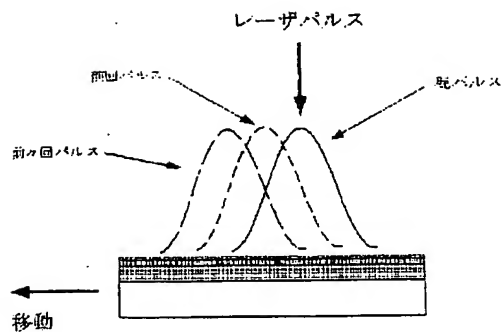


【図2】

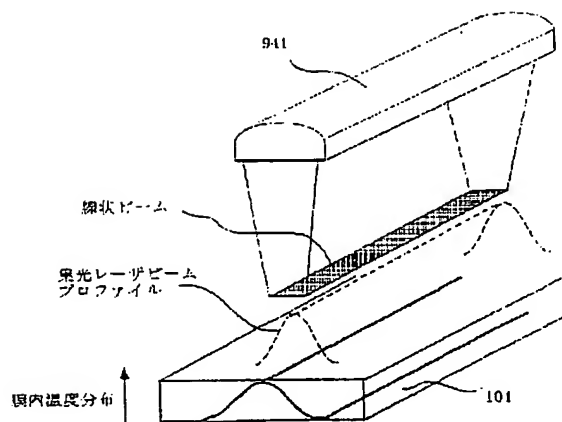


101: 基板上膜材料 (非晶質珪素膜)

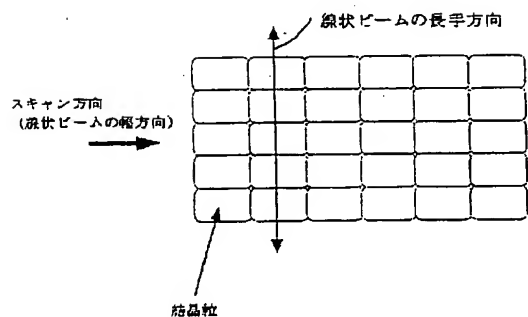
【図3】



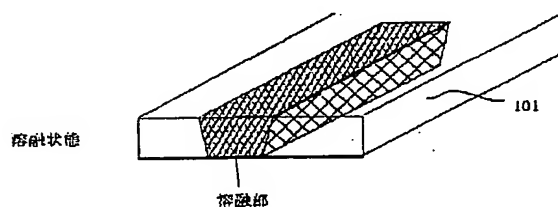
【図4】



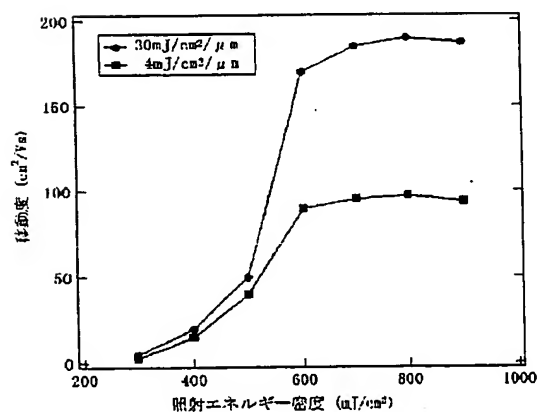
【図5】



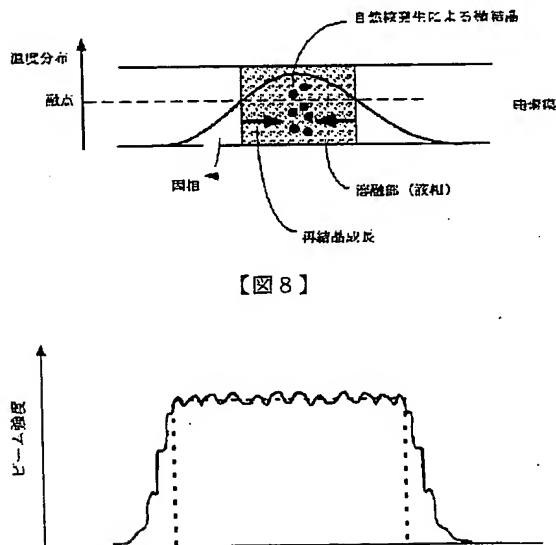
【図6】



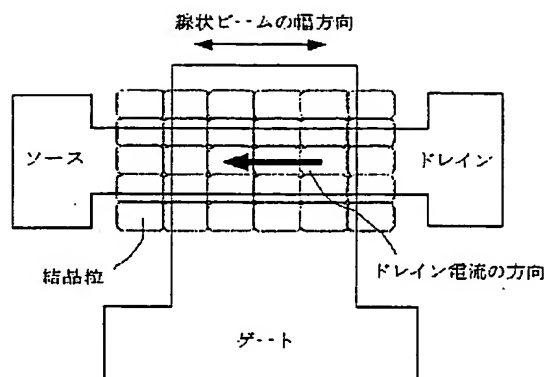
【図7】



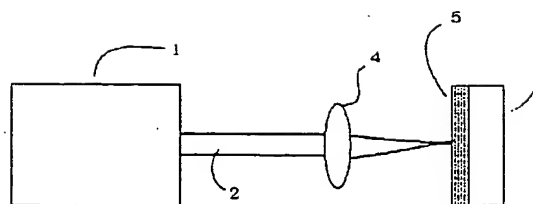
【図8】



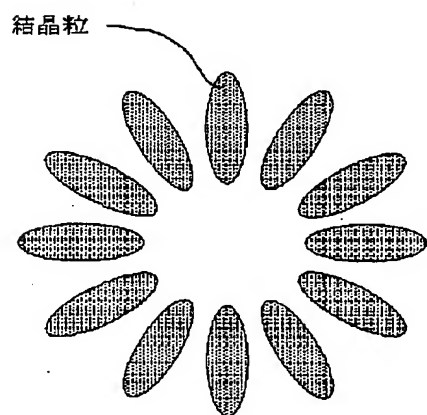
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 時岡 秀忠
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 佐藤 行雄
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 井上 満夫
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 笹川 智広
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 宮坂 光敏
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
ーエプソン株式会社内

Fターム(参考) .5F052 AA02 BA02 BA07 BB03 CA04
DA02 DB02 EA11 FA05 FA07
JA01
5F110 AA01 BB01 DD02 DD13 GG02
GG04 GG13 GG25 GG47 PP03
PP04 PP05 PP06 PP23 PP24